



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 10 810.6

**Anmeldetag:** 12. März 2003

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem

**IPC:** H 04 L 1/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

## Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem innerhalb eines Empfängers.

10 Figur 1 zeigt eine herkömmliche Anordnung zur Datenübertragung. Von einem Sender werden Sendesymbole SS über einen Signalpfad bzw. Datenübertragungskanal an einen Empfänger übertragen. Der Empfänger empfängt die Empfangssymbole ES, die beispielsweise durch eine Datenverarbeitungseinheit verarbeitet werden. Aufgrund von Signalstörungen weichen die Empfangssymbole ES von den Sendesymbolen SS unter Umständen ab. Die Sendesymbole SS sowie die Empfangssymbole ES sind Datensymbole, die ein oder mehrere Datenbits umfassen.

20 Bei dem Empfänger handelt es sich beispielsweise um einen QAM-Empfänger. Bei der Datenübertragung über den realen Datenübertragungskanal weist das Empfangssignal ES in der Regel lineare Verzerrungen und eine zusätzliche Rauschkomponente auf. Der Empfänger rekonstruiert aus dem Empfangssignal ES die Bitfolge der Datenquelle. Hierzu wird das analoge Empfangssignal zunächst in ein digitales Signal umgewandelt und anschließend an eine Mischstufe abgegeben. Ein nachgeschaltetes Empfangsfilter unterdrückt mögliche Störsignale außerhalb des Übertragungsfrequenzbandes. Durch geeignete Dimensionierung eines sogenannten Matched-Filters MF wird hierdurch die Zuverlässigkeit der Detektion erhöht. Das Matched-Filter ist ein digitales Empfangsfilter innerhalb des Empfängers, das an ein Sendefilter innerhalb des Senders derart angepasst ist, dass die Amplitude des empfangenen Signals zu den Abtastzeit-

30 punkten maximal ist. Das Ausgangssignal des Matched-Filters

35 wird einem Trägerphasendetektor TPD zugeführt, der zur Trägerphasendetektion eines digitalen Empfangssignals vorgesehen

ist. Der Trägerphasendetektor TPD gibt ein Trägerphasendetektionsabweichungssignal an ein nachgeschaltetes digitales Schleifenfilter ab. Das digitale Schleifenfilter und der nachgeschaltete numerisch gesteuerte Oszillator NCO liefern  
5 einen digitalen Steuersignal für eine Mischstufe. Die Frequenz- und Phasenschätzung des Empfangssignals ES kann in einer oder zwei Stufen erfolgen. Bei einem zweistufigen QAM-Empfänger enthält dieser eine Trägerfrequenzschleife zur Detektion einer Trägerfrequenz des Empfangssignals in einem  
10 ersten Trägerfrequenzempfangsbereich und eine nachgeschaltete Trägerphasenschleife zur Detektion einer Trägerphase des Empfangssignals in einem zweiten Trägerfrequenz-Fangbereich.

Bei dem Trägerphasendetektor TPD und dem Trägerfrequenzdetektor TFD handelt es sich um sogenannte entscheidungsbasierte Systeme (decision directed systems). Der Empfänger enthält einen Entscheider, der die empfangenen Empfangssymbole ES mit Soll-Symbolen vergleicht und das Empfangssymbol ES demjenigen  
15 Sollsymbol zuordnet, welches den geringsten Abstand zu dem Empfangssymbol ES aufweist.  
20

Figur 2 zeigt ein Beispiel für die Zuordnung eines Empfangssymbols ES zu einem Soll-Symbol  $ES_{soll}$  nach dem Stand der Technik. Die Soll-Symbole S1, S2, S3, S4 haben bei dem gezeigten Beispiel die Werte:  
25

S1 = +1, +1;

S2 = -1, +1;

S3 = -1, -1;

30 S4 = +1, -1.

Bei dem gezeigten Beispiel wird ein Empfangssymbol  $ES = 0,1$ ; 0,1 durch den Empfänger empfangen.

35 Durch einen Entscheider werden die Abstände zwischen dem Empfangssymbol ES und den verschiedenen Soll-Symbolen S1-S4 be-

rechnet. Die Abstände  $a_i$  betragen bei dem in Figur 2 dargestellten Beispiel:

$$A1^2 = 1,62$$

5  $A2^2 = 2,02;$

$$A3^2 = 2,42;$$

$$A4^2 = 2,02.$$

Durch den Entscheider wird der minimale Abstand selektiert, der in dem Beispiel  $A1^2 = 1,62$  beträgt. Die Wahrscheinlichkeit, dass das ursprünglich gesendete Sendesymbol SS dem Soll-Symbol S1 entspricht ist daher am höchsten und das Empfangssymbol ES = 0,1; 0,1 wird als Soll-Symbol S1 = +1, +1 erkannt.

Figur 3 zeigt ein Beispiel mit 6 Sendesymbolen, die von dem Sender über den Datenübertragungskanal zu dem Empfänger übertragen werden und dort als Empfangssymbolfolge ES ankommen. Bei dem in Figur 3 dargestellten Beispiel sendet der Sender z. B. ein Sendesymbol SS1 = -1, +1, welches als Empfangssymbol ES2 = +0,1, +0,1 an dem Empfänger anliegt. Der Empfänger führt, wie im Zusammenhang mit Figur 2 erläutert, eine Entscheidung durch und erkannte das Empfangssymbol ES2 fälschlicherweise als Soll-Symbol S1 = +1; +1. Diese fehlerhafte Entscheidung wird dem entscheidungsbasierten System innerhalb des Empfängers, beispielsweise einem Taktphasendetektor oder einem Trägerfrequenzdetektor zugeführt. Entscheidungsbasierte Systeme (decision directed systems) funktionieren gut, so lange die ihnen zugeführten Entscheidungen richtig sind. Die entscheidungsbasierten Systeme können auch Fehlentscheidungen tolerieren, so lange die Fehlentscheidungen nur in sehr seltenen Fällen und mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftreten. Treten die Fehlentscheidungen häufiger auf bzw. wird die Wahrscheinlichkeit für Fehlentscheidungen größer, so geraten die entscheidungsbasierten Systeme, beispielsweise ein Trägerphasendetektor oder ein Trägerfrequenzdetektor außer Tritt. Ein dem Trägerfrequenzschätzer bzw. Taktphasen-

schätzer nachgeschaltetes Schleifenfilter erhält dabei falsche Eingangswerte, so dass die von dem numerisch kontrollierten Oszillator NCO abgegebene Mischfrequenz ebenfalls immer stärker abweicht. Aufgrund des abweichenden Misch-Signals  
5 nimmt die Anzahl der Fehlentscheidungen zu, so dass die Regelungsabweichung sich weiter erhöht.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung für ein Verfahren zum Filtern von Datensymbolen für  
10 ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem zu schaffen, bei der die Anzahl der Fehlentscheidungen, die dem entscheidungsbasierten Datenverarbeitungssystem zugeführt werden, minimal ist.

15 Die Erfindung schafft eine Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem mit:

einem Zwischenspeicher zum Zwischenspeichern von einer Folge von  $n$  sequentiell empfangenen Datensymbolen (ES) und mit  
20 einem Medianfilter  $n$ -ter Ordnung, das die Minimalabstände ( $a_{\min}$ ) der  $n$  zwischengespeicherten Datensymbole zu Soll-Datensymbolen berechnet und dasjenige Datensymbol herausfiltert, dessen berechneter Minimalabstand ( $A_{\min}$ ) einen mittleren Wert innerhalb der Gruppe der berechneten Minimalabstände  
25 aufweist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das Medianfilter auf:

mehrere Berechnungsschaltungen, die jeweils den Minimalabstand zwischen dem zwischengespeicherten Datensymbol (ES) und  
30 den vorbestimmten Soll-Datensymbolen ( $ES_{\text{soll}}$ ) berechnen, eine Steuerschaltung,

die eine Sortierschaltung zum Sortieren der berechneten Minimalabstände entsprechend ihres Wertes und

35 eine Selektionsschaltung zur Selektion eines mittleren Minimalabstandes aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände aufweist, und

einen Multiplexer, der das zu dem selektierten mittleren Minimalabstand zugehörige zwischengespeicherte Datensymbol (ES) an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem durchschaltet.

5

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der Zwischenspeicher zum Zwischenspeichern der  $n$  sequentiell empfangenen Datensymbole ein FIFO-Register.

10 Bei dem Medianfilter handelt es sich vorzugsweise um ein Medianfilter  $n$ -ter Ordnung, wobei  $n$  eine ungerade Zahl ist.

Das Medianfilter ist vorzugsweise ein Medianfilter dritter Ordnung.

15

Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Medianfilter ein Medianfilter fünfter Ordnung.

20 Bei dem entscheidungsbasierten Datenverarbeitungssystem handelt es sich bei einer ersten Ausführungsform um einen Taktphasendetektor.

25 Bei einem entscheidungsbasierten Datenverarbeitungssystem handelt es sich bei einer weiteren Ausführungsform um einen Trägerphasendetektor.

25

Bei dem entscheidungsbasierten Datenverarbeitungssystem handelt es sich bei einer weiteren Ausführungsform um einen Equalizer.

30

Die Soll-Datensymbole sind bei einer bevorzugten Ausführungsform in einem Soll-Datenregister abgespeichert.

Dieses Soll-Datenregister ist vorzugsweise programmierbar.

35

Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem mit den folgenden Schritten:

- 5    Zwischenspeichern einer Folge von  $n$  sequentiell empfangenen Datensymbolen (ES);  
Berechnen der Minimalabstände ( $A_{\min}$ ) der zwischengespeicherten Datensymbole (ES) zu vorbestimmten Soll-Datensymbolen;  
Sortieren der Minimalabstände ( $a_{\min}$ ) nach ihrem Wert;  
10   Selektieren eines mittleren Minimalabstandes aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände; und  
Ausgeben des zu dem selektierten Minimalabstand zugehörigen zwischengespeicherten Datensymbols (ES) an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem.

15

- Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen (ES) für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren zur Erläuterung erfindungswesentlicher Merkmale beschrieben.
- 20

Es zeigen:

25

Figur 1 eine Schaltungsanordnung mit einem Empfänger nach dem Stand der Technik;

Figur 2 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise entscheidungsbasierter Systeme;

30

Figur 3 eine Tabelle zur Erläuterung der der Erfindung zugrunde liegenden Problematik;

Figur 4 eine Schaltungsanordnung mit einem Empfänger, der die erfindungsgemäße Filtervorrichtung enthält;

35

Figur 5 ein Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung;

Figur 6 eine Tabelle zur Erläuterung der Funktionsweise der in Figur 5 dargestellten erfindungsgemäßen Filtervorrichtung;

5 Figur 7 ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Filtern von Datensymbolen;

Figur 8 ein Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung;

10

Figur 9 eine besonders bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung;

Figur 10 einen QAM-Empfänger, der die erfindungsgemäße Filtervorrichtung enthält, als Anwendungsbeispiel.

15

Wie man aus Figur 4 erkennen kann, sendet ein Sender 1 Sendedatensymbole SS über einen Datenübertragungskanal bzw. Signalfeld 2 an einen Empfänger 3. Die Empfangsdatsensymbole ES weichen aufgrund der Kanalstörungen bzw. Kanalverzerrungen von den ursprünglich gesendeten Sendedatensymbolen SS ab. Der Empfänger 3 weist einen Signaleingang 4 auf, der die empfangenen Empfangsdatsensymbole ES über eine Leitung 5 an eine Datenverarbeitungseinheit 6 abgibt. Daneben enthält der Empfänger 3 ein sogenanntes entscheidungsbasiertes System 7, wie beispielsweise einen Taktphasendetektor oder einen Trägerfrequenzdetektor zum Einregeln auf das Empfangsdatsensignal.

20

25

Der Empfänger 3 enthält erfindungsgemäß eine Filtervorrichtung 8 zum Filtern der empfangenen Datensymbole (ES). Die Filtervorrichtung 8 weist hierzu einen Signaleingang 9 und einen Signalausgang 10 auf. Der Signaleingang 9 der Filtervorrichtung 8 ist über eine Leitung 11 mit dem Eingang 4 des Empfängers 3 verbunden und empfängt die Empfangsdatsensymbole ES. Die Filtervorrichtung 8 filtert die empfangenen Datensymbole ES und gibt die gefilterten Datensymbole ES' über eine

30

35



Leitung 12 an das nachgeschaltete entscheidungsbasierte System 7 ab.

Figur 5 zeigt die bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung 8 zum Filtern von Datensymbolen. Die Filtervorrichtung 8 empfängt über einen Dateneingang 9 die empfangenen Datensymbole ES. Jedes Datensymbol besteht dabei aus einer Folge von Datenwerten. Beispielsweise besteht das Datensymbol ES aus zwei Datenwerten für den Realteil und den Imaginärteil eines QAM-Empfangssignals, wie in Figur 2 dargestellt ist. Die empfangenen Datensymbole ES werden bei dieser Ausführungsform über zwei Datenleitungen 11a, 11b dem Dateneingang 9a, 9b zugeführt, wobei eine Datenleitung 11a für den Realteil und eine Datenleitung 11b für den Imaginärteil vorgesehen ist. Der Eingang 9a, 9b ist über zwei Datenleitungen 12a, 12b mit einem Zwischenspeicher 13 verbunden, der zum Zwischenspeichern einer Folge von n sequentiell empfangenen Datensymbolen ES geeignet ist. Bei dem Zwischenspeicher 13 handelt es sich um ein Register, vorzugsweise um ein FIFO-Register.

Die Filtervorrichtung 8 enthält neben dem ersten Register 13 ein zweites Register 14, in dem m Soll-Datensymbole  $ES_{soll}$  abgespeichert sind. Beispielsweise befinden sich in dem Register 14 vier Soll-Datensymbole, wie in Figur 2 dargestellt, nämlich:

S1 = +1; +1  
S2 = -1; +1  
S3 = -1; -1  
S4 = +1; -1

Das erste Datenregister 3, in welchem die empfangenen Empfangsdatsymbole ES zwischengespeichert sind, ist über n Datenleitungen 15-1, 15-2 ... 15-n mit zugehörigen Berechnungsschaltungen 16-1, 16-2, ... 16-n verbunden. Die Berechnungsschaltungen 16-n weisen jeweils einen weiteren Eingang zum Einlesen aller Soll-Datensymbole  $ES_{soll}$  über Datenleitungen 17

auf. Die Berechnungsschaltungen 16-i berechnen jeweils den Minimalabstand  $a_{\min}$  zwischen dem zugehörigen zwischengespeicherten Datensymbol  $ES_i$  und dem vorbestimmten Soll-Datensymbolen  $ES_{\text{soll}}$ . Die errechneten Minimalabstände  $a_{\min}$  werden über Datenleitungen 18 an eine Steuerschaltung 19 abgegeben. Die Steuerschaltung 19 umfasst eine Sortierschaltung zum Sortieren der berechneten Minimalabstände  $a_{\min}$  entsprechend ihres berechneten Wertes. Ferner enthält die Steuerschaltung 19 eine Selektionsschaltung zur Selektion eines mittleren Minimalabstandes Median ( $a_{\min}$ ) aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände. Die Steuerschaltung 19 steuert über eine Steuerleitung 20 einen Multiplexer 21 an, dessen Eingänge über Datenleitungen 22 mit dem ersten Register 13 verbunden sind. Der Multiplexer 21 schaltet das zu dem selektierten mittleren Minimalabstand Median  $a_{\min}$  zugehörige zwischengespeicherte Datensymbol  $ES_i$  an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem 7 durch. Die Berechnungsschaltungen 16-i, die Steuerschaltung 19 und der Multiplexer 21 bilden zusammen einen Median-Filter 24 n-ter Ordnung zum Filtern der n sequentiell empfangenen Datensymbole  $ES_i$ , die in dem Zwischenspeicher 13 zwischengespeichert sind. Das Medianfilter 24 berechnet die Minimalabstände  $a_{\min}$  der n zwischengespeicherten Datensymbole  $ES_i$  zu den vorbestimmten Soll-Datensymbolen  $ES_{\text{soll}}$  und filtert dasjenige Datensymbol  $ES_i$  heraus, dessen berechneter Minimalabstand  $a_{\min}$  einen mittleren Wert der berechneten Minimalabstände aufweist. Das Medianfilter 24 ist ein Medianfilter n-ter Ordnung, wobei n vorzugsweise eine ungerade Zahl ist. Bei einer ersten Ausführungsform ist das Medianfilter 24 ein Medianfilter dritter Ordnung. Bei einer alternativen Ausführungsform handelt es sich bei dem Medianfilter 24 um ein Medianfilter fünfter Ordnung handeln.

Die Soll-Datensymbole  $ES_{\text{soll}}$  sind bei einer bevorzugten Ausführungsform über Programmierleitungen programmierbar.

Figur 6 zeigt eine Tabelle zur Erläuterung der Funktionsweise der in Figur 5 dargestellten bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung 8.

5 Von einem Sender 1 wird eine Folge von Sendesymbolen  $SS_i$  abgegeben, wobei in dem in Figur 6 dargestellten Beispiel sechs Sendesymbole über den Datenübertragungskanal 2 an den Empfänger 3 übertragen werden. Aufgrund von Rauschen und Signalverzerrungen erhält der Empfänger 3 an seinem Eingang 4 eine  
10 Folge von Empfangssymbolen  $ES$ . Sowohl die Sendedatensymbole als auch die Empfangssymbole bestehen bei dem in Figur 6 dargestellten Beispiel aus zwei Datenwerten, nämlich einem Realteil und einem Imaginärteil. Die Empfangssymbolfolge der Empfangssymbole  $ES_i$  wird in dem ersten Register 13 der  
15 Filtervorrichtung 8 zwischengespeichert. Die Berechnungsschaltungen 16-i berechnen für die zwischengespeicherten Empfangssymbole  $ES_i$  jeweils den Minimalabstand zu den vorgegebenen Soll-Datensymbolen  $ES_{soll}$ . Bei dem in Figur 6 dargestellten Beispiel wird der euklidische Abstand zwischen dem Empfangssymbol  $ES$  und dem Soll-Symbol  $SS$  berechnet. Dabei wird  
20 durch eine Berechnungsschaltung 16-i der euklidische Abstand zwischen dem Empfangssymbol  $ES$  und allen  $m$  vorgegebenen Soll-Datensymbolen  $ES_{soll}$  berechnet. Beträgt  $m$ , wie in Figur 2 dargestellt, vier unterschiedliche Soll-Datensymbole  $ES_{soll}$ , berechnet eine Berechnungsschaltung 16-i vier unterschiedliche  
25 Abstände des Empfangssymbols  $ES$  und selektiert daraus den Minimalabstand.

Empfängt das Medianfilter 24 beispielsweise als Empfangssymbol  $ES_2 = 0,1$ ;  $0,1$  betragen die berechneten Abstände:

$$A_1^2 = 1,62$$

$$A_2^2 = 2,02;$$

$$A_3^2 = 2,42;$$

$$A_4^2 = 2,02.$$

35

Aus den berechneten Abständen wird der Minimalabstand selektiert, der bei dem gegebenen Beispiel  $1,62$  beträgt. Bei dem

in Figur 6 dargestellten Beispiel ist das Medianfilter 24 ein Medianfilter dritter Ordnung. In dem Register 13 werden in einem FIFO-Verfahren drei Empfangssymbole  $ES_i$  zwischengespeichert.

5

Zu einem Zeitpunkt  $t_0$  sind dies beispielsweise die Empfangssymbole  $ES_1$ ,  $ES_2$ ,  $ES_3$  und zu einem Zeitpunkt  $t_1$  die drei Empfangssymbole  $ES_2$ ,  $ES_3$ ,  $ES_4$  usw. Für die gebildeten 3-er Gruppen werden durch die Berechnungsschaltungen 16-1, 16-2, 16-3 die Minimalabstände  $a_{i\min}^2$  berechnet und über die Datenleitungen 18-i der Steuerschaltung 19 zugeführt. Die Steuerschaltung 19 umfasst eine Sortierschaltung zum Sortieren der berechneten Minimalabstände  $a_{i\min}^2$  und eine Selektionsschaltung, welche einen mittleren Minimalabstand aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände selektiert.

10

15

Bei dem in Figur 6 dargestellten Beispiel wird zum Zeitpunkt  $t_0$  der an dritter Position befindliche Minimalabstand  $A_3^2 = 1$  als mittlerer Wert selektiert, da er zwischen dem ersten Minimalabstand  $A_1^2 = 0,29$  und dem an zweiter Position befindlichen Minimalabstand  $A_2^2 = 1,62$  liegt. In gleicher Weise wird durch die Steuerschaltung 19 zum Zeitpunkt  $t_1$  erkannt, dass der an Position 2 befindliche Minimalabstand der mittlere Wert ist. Zum Zeitpunkt  $t_2$  erkennt die Steuerschaltung 19, dass der Wert 0,97 zwischen den Werten 0,02 und dem Wert 1 liegt und selektiert Position 2 für den Wert 0,97 als mittleren Wert. In gleicher Weise wird zum Zeitpunkt  $t_3$  als Mittelwert der an Position 1 gelegene Minimalabstand von 0,97 erkannt.

20

25

30

Die Steuerschaltung 19 gibt die erkannte Position als Steuersignal über die Steuerleitung 20 an die Multiplexer 21 ab, der das zu dem selektierten mittleren Minimalabstand zugehörige zwischengespeicherte Datensymbol  $ES_i$  an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem 7 durchschaltet.

35

Bei dem in Figur 6 dargestellten Beispiel wird zunächst das dritte (POS3) Empfangssymbol ES über die Leitung 23-3 an den Ausgang 10 der Filtervorrichtung 8 durchgeschaltet. Anschließend wird zum Zeitpunkt  $t_1$  das an der zweiten Position (POS2) des Registers 13 gelegene Empfangssymbol ES an den Ausgang 10 der Filtervorrichtung 18 durchgeschaltet, wobei in dem dargestellten Beispiel wiederum das Empfangssymbol ES3 ist. Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird das an zweiter Stelle (POS2) innerhalb des Registers 13 zwischengespeicherte Empfangssymbol ES an den Ausgang 10 durchgeschaltet, wobei es bei dem dargestellten Beispiel das Empfangssymbol ES4 der Empfangssymbolfolge ist. Schließlich wird zum Zeitpunkt  $t_3$  das an Position 1 des Empfangsregisters 13 zwischengespeicherte Empfangssymbol ES an den Ausgang 10 durchgeschaltet, wobei dies wiederum das Empfangssymbol ES4 der Empfangssymbolfolge ist.

Es ergibt sich eine gefilterte Empfangssymbolfolge ES', wie sie in der Tabelle angegeben ist. Die gefilterte Ausgangssymbolfolge ES' wird an das nachgeschaltete entscheidungsbasierte System 7 abgegeben. Dieses führt auf Grundlage der gefilterten Empfangssymbolfolge ES' eine Entscheidung durch, beispielsweise für die Taktphasen- oder Trägerfrequenzschätzung.

Wie man durch Vergleich der Tabellen in Figur 6 und in Figur 3 erkennen kann, wird bei dem dargestellten Beispiel die fehlerhafte Entscheidung ES'2 in Tabelle 3 durch die erfindungsgemäße Filtervorrichtung 8 herausgefiltert und dem entscheidungsbasierten System 7 werden nur richtige Entscheidungen durch die Filtervorrichtung 8 zugeführt.

Durch die erfindungsgemäße Filtervorrichtung 8 werden die wahrscheinlich fehlerhaften Entscheidungen herausgefiltert und dem entscheidungsbasierten System 7, beispielsweise der Taktphasen- oder Trägerfrequenzselektionsschaltung, die wahrscheinlich richtige Entscheidung zugeführt. Beim Einsatz eines entscheidungsbasierten Systems 7 in Form eines Taktpha-

sendetektors oder eines Trägerfrequenzdetektors wird hierdurch das Regelungsverhalten eines Empfängers stark verbessert und die Bitfehlerrate für die Datenverarbeitung stark verringert.

5

Figur 7 zeigt ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem.

10 Nach einem Startschritt  $S_0$  werden in einem Schritt  $S_1$  die empfangenen Datensymbole ES in einem Zwischenspeicher 13 zwischengespeichert.

15 Anschließend werden in einem Schritt  $S_2$  die Minimalabstände  $a_i$  durch die Berechnungsschaltungen 16-i zu allen Soll-Datensymbolen  $ES_{soll}$  berechnet, die in dem Register 14 abgespeichert sind.

20 Die Steuerschaltung 19 sortiert zunächst in einem Schritt  $S_3$  die berechneten Minimalabstände  $a_{min}$  nach ihrer Größe bzw. ihrem Wert.

25 Anschließend selektiert die Steuerschaltung 19 im Schritt  $S_4$  einen mittleren Minimalabstand aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände und steuert über die Steuerleitung 20 den Multiplexer 21 an.

30 In einem weiteren Schritt  $S_5$  wird das zu dem selektierten Minimalabstand zugehörige zwischengespeicherte Datensymbol an das nachfolgende entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem 7 ausgegeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird in dem Schritt  $S_6$  beendet.

35

Figur 8 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung 8. Bei der in Figur 8 dargestellten

Ausführungsform handelt es sich um eine Filtervorrichtung 8 mit einem Medianfilter 24 dritter Ordnung. In dem Register 13 werden sequentiell drei Empfangssymbole ES1, ES2, ES3 zwischengespeichert. Hierzu enthält das Register 13 zwei Zeitverzögerungsglieder 13a, 13b. Das Register 13 ist über Datenleitungen 22 mit den Eingängen des Multiplexers 21 verbunden.

Der Filtervorrichtung 8 wird bei der in Figur 8 dargestellten Ausführungsform beispielsweise dem Realteil eines zwei Datenwerte umfassenden Empfangssdatensymbols ES zugeführt. Die in Figur 8 dargestellte Schaltungsanordnung ist bei einer Folge von Empfangssdatensymbolen ES, die jeweils einen Realteil und einen Imaginärteil umfassen, wie in dem in Figur 6 dargestellten Beispiel, einmal für den Realteil und einmal für den Imaginärteil vorgesehen. Das zwischengespeicherte Realteil bzw. der erste Datenwert eines aus zwei Datenwerten bestehenden Empfangssymbol-Datenpaares wird jeweils einer Schaltung 25-i zugeführt, die daraus den Absolutwert bzw. Betragwert bildet.

Bezugnehmend auf Figur 6 befinden sich beispielsweise zum Zeitpunkt  $t_3$  die Realteile der Empfangssymbolfolgen ES3, ES4, ES5 in dem Register 13, d.h. die Realteile 0,4, -0,6, 1,1.

$\text{Re} \{ \text{ES1} \} = 0,4$

$\text{Re} \{ \text{ES2} \} = -0,6$

$\text{Re} \{ \text{ES3} \} = 1,1$

Die Schaltung 25-i bilden die Absolutwerte der zwischengespeicherten Realteile und geben sie jeweils an den Subtrahierer 26-i ab. Die Subtrahierer bilden die Differenz zwischen dem gebildeten Absolutwert und dem Sollwert, welcher in dem gegebenen Fall eins beträgt.

Die berechneten Differenzen werden in einer weiteren Schaltung 27-i zur Bildung eines Absolut- bzw. Betragswertes zugeführt.

Anschließend wird mittels Subtrahierern 28-i die Reihenfolge der berechneten Werte ermittelt.

- Der erste Subtrahierer 28-1 vergleicht den Ausgabewert der Berechnungsschaltung 27-3 mit dem Ausgabewert der Berechnungsschaltung 27-2, wobei eine Schaltung 29-1 ein logisch hohes Datenbit abgibt, wenn der Ausgabewert der Schaltung 27-3 größer ist als der Ausgabewert der Schaltung 27-2. In gleicher Weise vergleicht der Subtrahierer 28-3 den Ausgabewert der Schaltung 27-2 mit dem Ausgabewert der Schaltung 27-1, wobei die Schaltung 29-3 ein logisch hohes Datenbit über eine Steuerleitung 30 an einen Multiplexer 31 abgibt, wenn der Ausgabewert der Schaltung 27-2 größer ist als der Ausgabewert der Schaltung 27-1. Ferner vergleicht der Subtrahierer 28-2 den Ausgabewert der Schaltung 27-3 mit dem Ausgabewert der Schaltung 27-1, wobei eine Schaltung 29-3 ein logisch hohes Datenbit abgibt, wenn der Ausgabewert der Schaltung 27-3 größer ist als der Ausgabewert der Schaltung 27-1.
- Die Steuerschaltung 19 enthält ferner eine Invertierschaltung 32, welche die zugeführten Datenbits invertiert an den Multiplexer 31 anlegt.

- Der Multiplexer 31 weist vier Dateneingänge A, B, C, D auf. Ferner besitzt der Multiplexer 31 zwei Ausgänge E, F. Durch die Steuerleitung 30 empfängt der Multiplexer ein Steuersignal S. Der Multiplexer 31 schaltet entweder die Dateneingänge A, B oder die Dateneingänge C, D an die Datenausgänge E, F durch. Über die Datenausgänge E, F wird ein nachgeschalteter ROM-Speicher 33 angesteuert, der das Positions-Steuersignal für den Multiplexer 21 liefert.

Die nachfolgende Tabelle erläutert die Funktion der Steuerschaltung 19 im Detail.



$a_{\min}(ES_3)$	$a_{\min}(ES_2)$	$a_{\min}(ES_1)$	POS	28-1 <i>add1</i>	28-2 <i>add2</i>	28-3 <i>add3</i>
1	2	3	2	1	1	1
1	3	2	3	1	1	0
2	1	3	1	0	1	1
2	3	1	1	1	0	0
3	1	2	3	0	0	1
3	2	1	2	0	0	0

A = *add1*

B = *add2*

C = *add1*

D = *add2*

S = *add3*

Wenn S = 1 dann E = A = *add1* und F = B = *add2*

10 Wenn S = 0 dann E = C = *add1* und F = D = *add2*

E	F	POS
0	1	1
1	1	2
0	0	3

15 In dem Zwischenspeicher 13 befinden sich drei Empfangssymbolwerte, die durch einen Medianfilter 24 dritter Ordnung gefiltert werden. Bei drei zwischengespeicherten Werten gibt es sechs verschiedene Möglichkeiten der Reihenfolge.

20 Durch das Medianfilter 24 wird derjenige zwischengespeicherte Wert herausgefiltert, dessen Minimalabstand zu einem Soll-Datenwert im mittleren Wert innerhalb der Gruppe von berechneten Minimalabständen aufweist. Dies ist bei dem gezeigten Beispiel der in der ersten Zeile der Tabelle an zweiter Stelle in dem Zwischenspeicher 13 abgespeicherten Datensymbolwert  $ES_2$ . Der Subtrahierer 28-3 zeigt an, dass der Wert  $a_{\min}(ES_1)$  größer ist als der Wert  $a_{\min}(ES_2)$ . Der Subtrahierer 28-2

zeigt an, dass der Wert  $a_{\min}$  (ES1) größer ist als der Wert  $a_{\min}$  (ES3). Der Subtrahierer 28-1 zeigt in diesem Fall an, dass der Wert  $a_{\min}$  (ES2) größer ist als der Wert  $a_{\min}$  (ES3). Hieraus erkennt die Steuerschaltung 19, dass der zu dem Empfangssymbol ES2 zugehörige Minimalabstand  $a_{\min}$  (ES<sub>2</sub>) der mittlere Minimalabstand ist. Entsprechend werden die Datenbits, die an den Dateneingängen A, B des Multiplexers 31 anliegen, an die Datenausgänge E, F des Multiplexers 32 zur Ansteuerung der ROM-Schaltung 33 durchgeschaltet. Die ROM-Schaltung S3 dekodiert das anliegende Signal 1,1 als Position 2 und steuert damit den Multiplexer 21 an.

Figur 9 zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsform, die zu der in Figur 8 dargestellten Schaltungsanordnung äquivalent ist. Dabei werden die beiden Betragsbildungsschaltungen 25-2, 27-2 durch eine Betragsbildungsschaltung, bzw. Schaltung zur Bildung eines Absolutwertes ersetzt, die in Figur 9 mit dem Bezugszeichen 34 bezeichnet ist.

Figur 10 zeigt als Anwendungsbeispiel für die erfindungsgemäße Filtervorrichtung 8 in einem QAM-Empfänger 3. Der Empfänger 3 empfängt über einen Datenübertragungskanal ein analoges Empfangssignal, das durch einen Analog/Digital-Wandler ADC in ein digitales Signal umgewandelt wird und als In-Phasen-Signalkomponente und als Quadratur-Signalkomponente der Mischstufe zugeführt wird. Die Mischstufe multipliziert im Zeitbereich die In-Phasen-Signalkomponente und die Quadratur-Signalkomponente mit einem anliegenden Steuersignal, das von einem numerisch kontrollierten Oszillator NCO stammt. Die gemischte In-Phasen-Signalkomponente wird einem In-Phasen-Matched-Filter zugeführt. Die gemischte Quadratur-Signalkomponente wird in gleicher Weise an ein Quadratur-Phasen-Matched-Filter abgegeben. Das Ausgangssignal des In-Phasen-Matched-Filters und des Quadratur-Phasen-Matched-Filters werden an eine nachgeschaltete weitere Mischstufe angelegt. Darüber hinaus wird das Ausgangssignal des In-Phasen-Matched-Filters und das Ausgangssignal des Quadratur-Phasen-

Matched-Filters in einen Trägerfrequenzdetektor TFD angelegt. Der Trägerfrequenzdetektor TFD erzeugt ein Trägerfrequenz-Abweichungsdetektionssignal TF und gibt dieses über eine Rückkopplungsleitung an ein digitales Schleifenfilter ab. Das  
5 digitale Schleifenfilter filtert das anliegende Trägerfrequenz-Abweichungsdetektionssignal TF und legt das gefilterte Signal an einen nachgeschalteten ersten gesteuerten Oszillator NCO an. Der numerisch gesteuerte Oszillator NCO generiert in Abhängigkeit von dem gefilterten Trägerfrequenz-  
10 Abweichungsdetektionssignal TF das Steuersignal für die erste Mischstufe. Die erste Mischstufe bildet zusammen mit den Matched-Filtern, dem Trägerfrequenzdetektor, dem digitalen Schleifenfilter und dem gesteuerten Oszillator eine Trägerfrequenzschleife des Empfängers 3 zur Detektion der Trägerfrequenz des Empfangssignals in einem ersten Trägerfrequenz-Empfangsbereich.  
15

Die Ausgangssignale der beiden Matched-Filter werden einer zweiten Mischstufe zugeführt. Die zweite Mischstufe multipliziert im Zeitbereich die anliegenden Ausgangssignale der beiden Matched-Filter mit einem anliegende Steuersignal, das von einem numerisch gesteuerten Oszillator NCO abgegeben wird. Die gemischten Signale werden über Leitungen einer Trägerphasen-Einrast-Erkennungsschaltung zugeführt. Darüber hinaus  
25 werden die Ausgangssignale der zweiten Mischstufe an die erfindungsgemäße Filtervorrichtung 8 angelegt, wie sie in Figur 5 dargestellt ist. Die Filtervorrichtung 8 empfängt über einen ersten Eingang 9a den Realteil des Empfangssdatensymbols und über einen zweiten Eingang 9b den Imaginärteil des Empfangssdatensymbols ES. Die Folge empfangener Datensymbole ES werden in der Filtervorrichtung 8 zwischengespeichert und ein  
30 in der Filtervorrichtung 8 enthaltendes Medianfilter 24 berechnet die Minimalabstände der zwischengespeicherten Datensymbole ES zu Soll-Datensymbolen  $ES_{soll}$ . Die Filtervorrichtung  
35 8 filtert dasjenige Datensymbol heraus, dessen berechneter Minimalabstand einen mittleren Wert innerhalb der Gruppe der berechneten Minimalabstände aufweist und gibt dieses Daten-

symbol an einen Trägerphasendetektor TPD als entscheidungsba-  
 siertes System 7 ab. Der Trägerphasendetektor 7 generiert ein  
 Trägerphasen-Abweichungsdetektionssignal TP, das über eine  
 Rückkopplungsleitung an ein digitales Schleifenfilter ange-  
 5 legt wird. Das digitale Schleifenfilter filtert das angelegte  
 Trägerphasen-Abweichungsdetektionssignal TP und gibt es an  
 den numerisch kontrollierten Oszillator NCO ab. Der Empfänger  
 3 enthält ferner eine Offset-Steuerschaltung, die ein Träger-  
 frequenz-Offset-Steuersignal an einen Addierer innerhalb der  
 10 Trägerfrequenzschleife anlegt.

Bei der erfindungsgemäßen Filtervorrichtung 8 werden die Emp-  
 fangs-Datensymbole ES bzw. die Messwerte durch das Medianfil-  
 ter 24 gefiltert. Es wird anschließend nur der mittlere Wert  
 15 bzw. einer der mittleren Werte an das nachgeschaltete ent-  
 scheidungs-basierte System 7 weitergegeben. Nimmt man an, dass  
 eine Entscheidung zu 5% falsch und zu 95% richtig ist und man  
 immer nur eine Entscheidung berücksichtigt, so ist jeder  
 zwanzigste Wert falsch. Durch die erfindungsgemäße Filtervor-  
 20 richtung 8 werden beispielsweise mittels eines Medianfilters  
 24 dritter Ordnung drei Entscheidungen bzw. Datensymbole ES  
 gefiltert, wobei die Wahrscheinlichkeit, dass alle drei Ent-  
 scheidungen falsch sind,  $0,5^3$  und die Wahrscheinlichkeit,  
 dass zwei Entscheidungen falsch sind  
 25  $3 \times 0,5^2 \times 0,95 = 0,007125$  beträgt. Die Gesamtwahrscheinlich-  
 keit, dass zwei oder mehr Entscheidungen falsch sind, beträgt  
 somit  $0,00725 = 0,000125 + 0,007125$ , d.h. durchschnittlich  
 ist nur noch jeder 138 Wert ( $138 = 1/0,00725$ ) nach dem Medi-  
 anfilter 24 ist falsch.

30

Erhöht man die Ordnung des Medianfilters 24 beispielsweise  
 auf  $n = 5$ , filtert das Medianfilter 24 fünf zwischengespei-  
 cherte Eingangsdatensymbole, so dass die Wahrscheinlichkeit,  
 dass drei oder mehr Entscheidungen falsch sind  
 35  $0,05^5 + 5 \times 0,05^4 \times 0,95 + 10 \times 0,05^3 \times 0,95^2 = 0,00116$

beträgt. In diesem Falle ist nur noch jeder achthundertzwei- undsechzigste Wert, der von dem Medianfilter 24 abgegeben wird, fehlerhaft.

- 5 Die Wahrscheinlichkeit, dass dem nachgeschalteten entscheidungsbasierten System 7 eine fehlerhafte Entscheidung zugeführt wird nimmt somit stark ab. Handelt es sich beispielsweise bei dem entscheidungsbasierten System um einen Taktphasendetektor oder einen Trägerphasendetektor innerhalb eines
- 10 Empfängers 3 wird hierdurch das Regelverhalten verbessert und die Bitfehlerrate stark verringert.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen (ES) für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem (7) mit:

5

(a) einem Zwischenspeicher (13) zum Zwischenspeichern einer Folge von  $n$  sequentiell empfangenen Datensymbolen (ES) und mit

10

(b) einem Medianfilter (24)  $n$ -ter Ordnung, das die Minimalabstände ( $a_{\min}$ ) der  $n$  zwischengespeicherten Datensymbole zu Soll-Datensymbolen ( $ES_{\text{soll}}$ ) berechnet und dasjenige Datensymbol herausfiltert, dessen berechneter Minimalabstand ( $a_{\text{imin}}$ ) einen mittleren Wert der berechneten Minimalabstände aufweist.

15

2. Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass das Medianfilter (24) aufweist:

20

(b1) mehrere Berechnungsschaltungen (16-i), die jeweils einen Minimalabstand ( $a_{\text{imin}}$ ) zwischen einem zwischengespeicherten Datensymbol (ES) und den vorbestimmten Soll-Datensymbolen ( $ES_{\text{soll}}$ ) berechnen;

25

(b2) einer Steuerschaltung,

die eine Sortierschaltung zum Sortieren der berechneten Minimalabstände entsprechend ihres Wertes und

30

eine Selektionsschaltung zur Selektion eines mittleren Minimalabstandes ( $\text{Median}\{a_{\text{imin}}\}$ ) aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände aufweist; und

35

(b3) einen Multiplexer, der das zu dem selektierten mittleren Minimalabstand zugehörige zwischengespeicherte Datensym-

bol an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem (7) durchschaltet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1

5   dadurch gekennzeichnet,  
dass der Zwischenspeicher (13) ein FIFO-Register ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1

10   dadurch gekennzeichnet,  
dass das Medianfilter (24) ein Medianfilter n-ter Ordnung  
ist, wobei n eine ungerade Zahl ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4

15   dadurch gekennzeichnet,  
dass das Medianfilter (24) ein Medianfilter dritter Ordnung  
ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4

20   dadurch gekennzeichnet,  
dass das Medianfilter (24) ein Medianfilter fünfter Ordnung  
ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1

25   dadurch gekennzeichnet,  
dass das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem (7)  
ein Taktphasendetektor ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1

30   dadurch gekennzeichnet,  
dass das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem (7)  
ein Trägerphasendetektor ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1

35   dadurch gekennzeichnet,  
dass das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem (7)  
ein Equalizer ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1


d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Soll-Datensymbole ( $ES_{soll}$ ) in einem Register (14) abgespeichert sind, welches programmierbar ist.

5


11. Verfahren zum Filtern von Datensymbolen für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem mit den folgenden Schritten:

10 (a) Zwischenspeicher (S1) einer Folge von n sequentiell empfangenen Datensymbolen (ES);

 (b) Berechnen S2 der Minimalabstände ( $a_{min}$ ) der zwischengespeicherten Datensymbole (ES) zu vorbestimmten Soll-Datensymbolen ( $ES_{soll}$ );  
15

(c) Sortieren (S3) der Minimalabstände ( $a_{min}$ ) nach ihrem Wert;


20 (d) Selektieren (S4) eines mittleren Minimalabstandes (Median) aus der Gruppe der sortierten Minimalabstände;

(e) Ausgeben des zu dem selektierten Minimalabstandes zugehörigen zwischengespeicherten Datensymbols (ES) an das entscheidungsbasierte Datenverarbeitungssystem (7).  
25 




### Zusammenfassung

Vorrichtung zum Filtern von Datensymbolen (ES) für ein entscheidungsbasiertes Datenverarbeitungssystem (7) mit einem  
5 Zwischenspeicher (13) zum Zwischenspeichern einer Folge von n sequentiell empfangenen Datensymbolen (ES) und mit einem Medianfilter (24) n-ter Ordnung, das die Minimalabstände ( $a_{\min}$ ) der n zwischengespeicherten Datensymbole zu Soll-Datensymbolen ( $ES_{\text{soll}}$ ) berechnet und dasjenige Datensymbol  
10 herausfiltert, dessen berechneter Minimalabstand ( $a_{\text{Imin}}$ ) einen mittleren Wert der berechneten Minimalabstände aufweist.



Figur 5



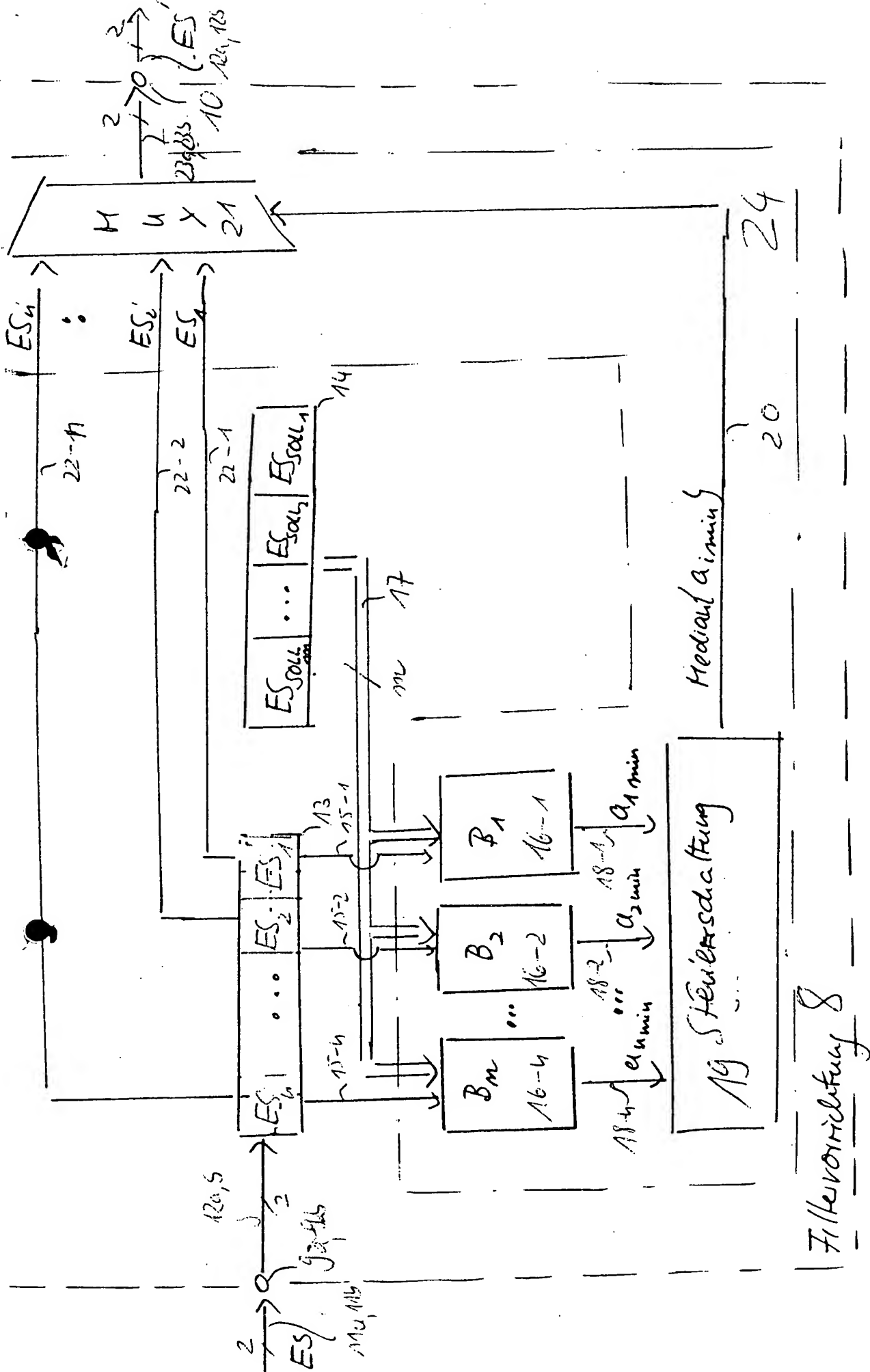


Fig. 5

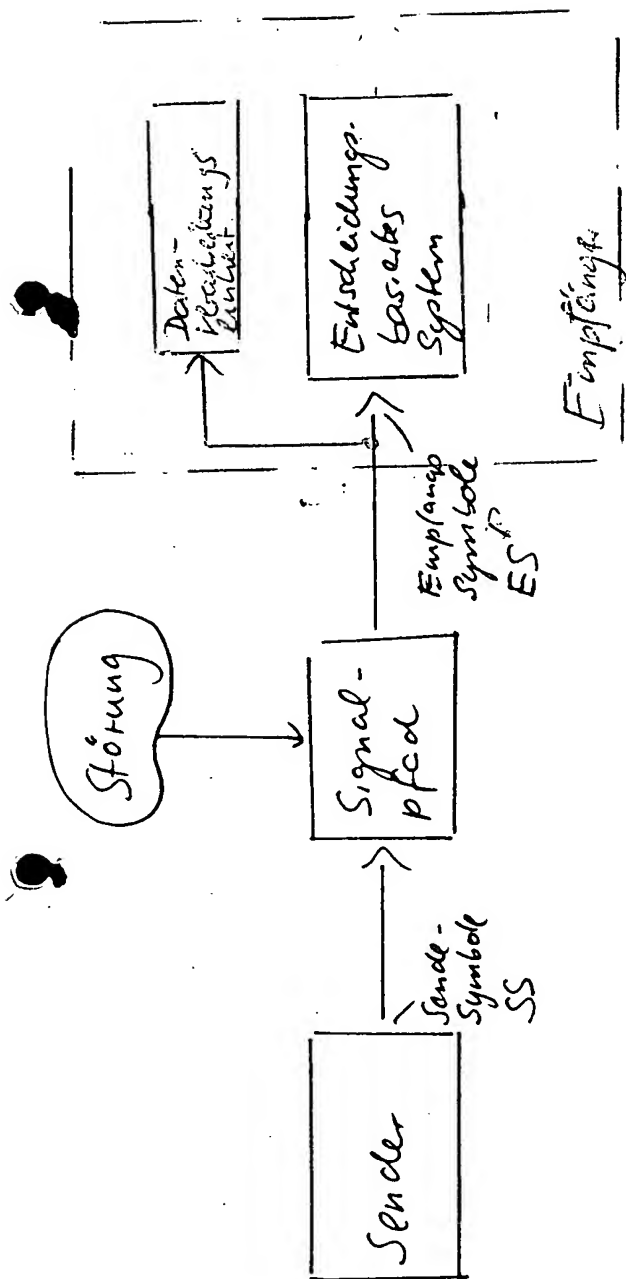
## Bezugszeichenliste

	1	Sender
	2	Datenübertragungskanal
5	3	Empfänger
	4	Eingang
	5	Datenleitung
	6	Datenverarbeitungseinheit
	7	entscheidungsbasiertes System
10	8	Filtervorrichtung
	9	Eingang
	10	Ausgang
	11	Leitung
	12	Leitung
15	13	Zwischenspeicher
	14	Soll-Datenregister
	15	Datenleitungen
	16	Berechnungsschaltungen
	17	Leitungen
20	18	Leitungen
	19	Steuerschaltung
	20	Steuerleitung
	21	Multiplexer
	22	Leitungen
25	23	Leitungen
	24	Medianfilter
	25	Betragsberechnungsschaltung
	26	Subtrahierer
	27	Betragsberechnungsschaltung
30	28	Subtrahierer
	29	Vorzeichenschaltung
	30	Steuerleitung
	31	Multiplexer
	32	Invertierer
35	33	ROM-Speicher
	34	Betragsbildungsschaltung

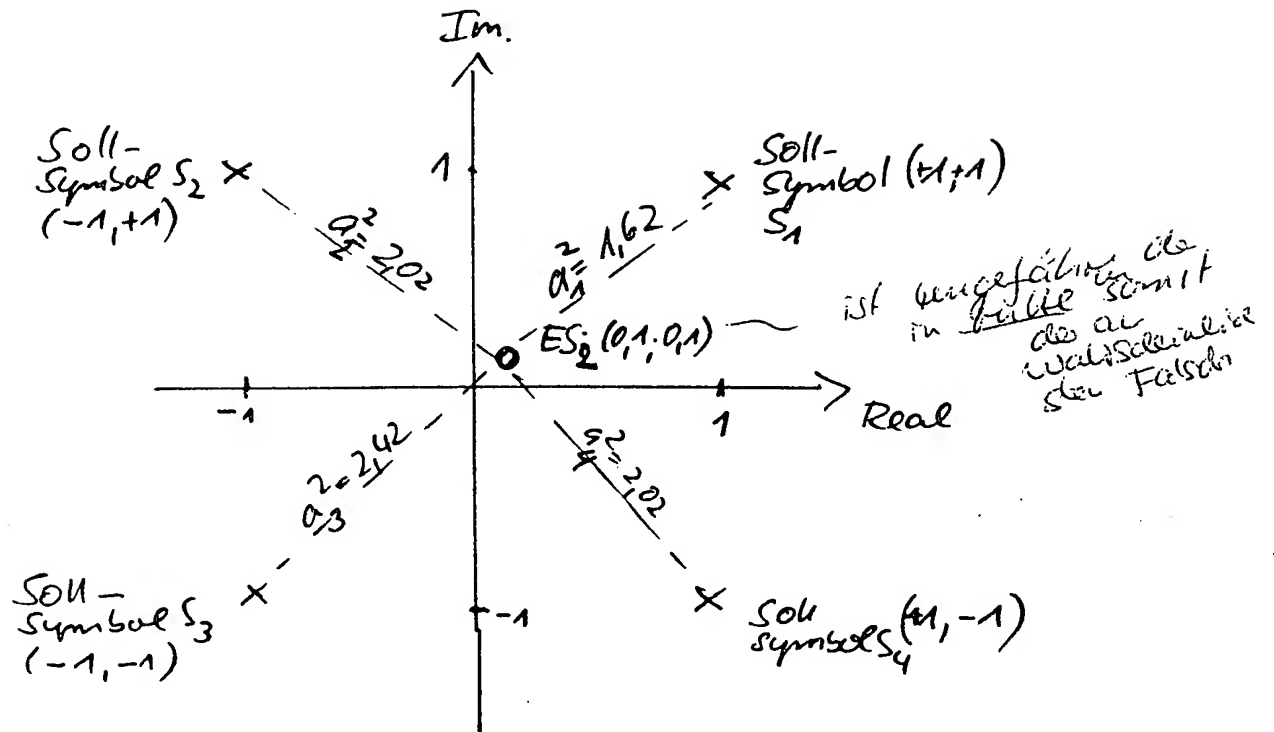
1/40

Stand der  
Technik

Fig. 1



2/10



$$\text{Min } \{a_i^2\} = \text{Min } \{1.62; 2.02; 2.42; 2.02\} = 1.62$$

Fig. 2

Stand  
der Technik

4 Sollsymbole

3/10

Beispiel:

		SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6
Sende-Symbolfolge (SS)	Re	+1	-1	+1	-1	+1	+1
	Im	+1	+1	+1	-1	-1	-1

		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
Empfangs-Symbolfolge (ES)	Re	1,5	0,1	0,4	-0,6	1,1	0,8
	Im	0,8	0,1	0,2	-0,1	-0,9	-2

Abstand $\min\{a_i^2\}$	$a_i^2$ (min)	0,29	1,62	1	0,97	0,02	1,04
-------------------------	---------------	------	------	---	------	------	------

		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
Entscheidung (ES)	Re	+1	+1	+1	-1	+1	+1
	Im	+1	+1	+1	-1	-1	-1

Tabelle

Stand der Technik

Fig 3

4/10

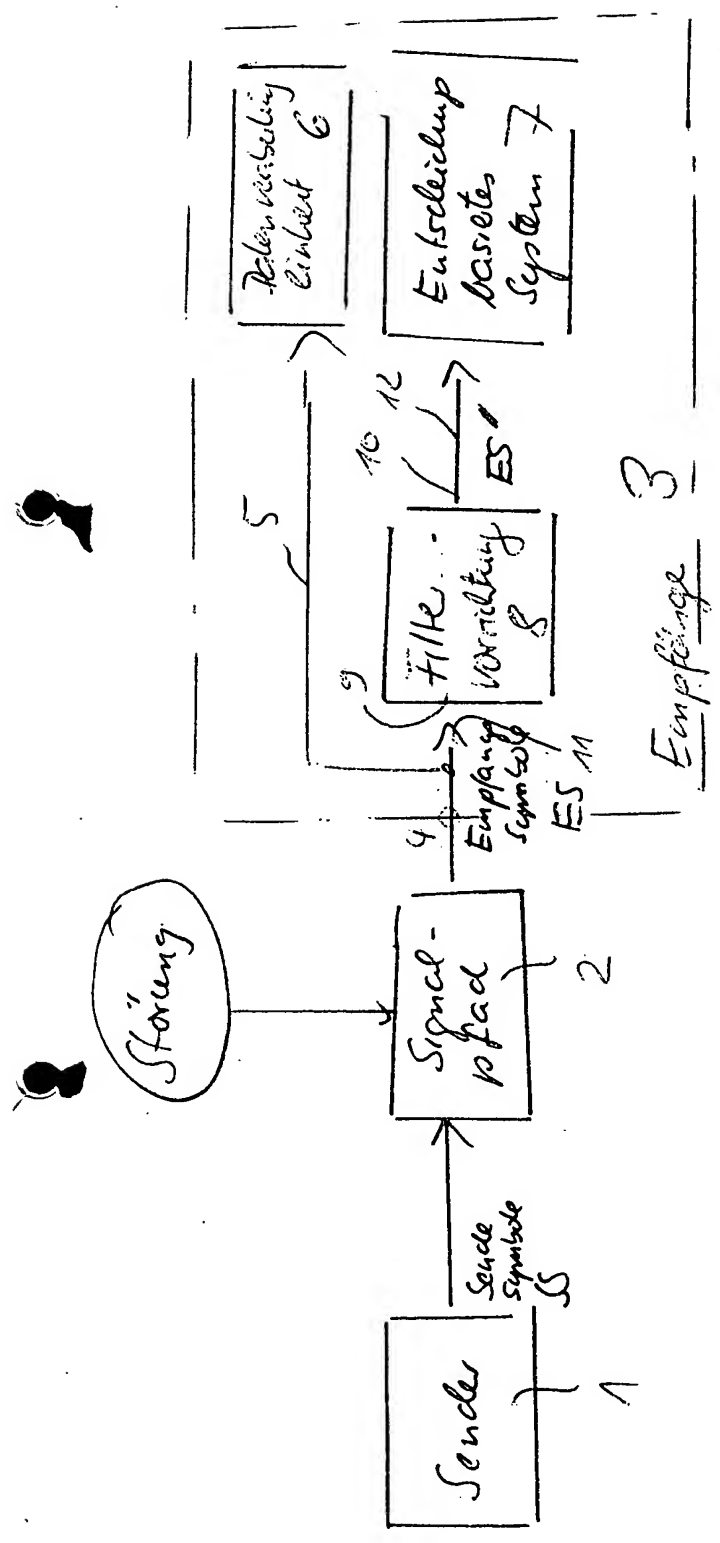


Fig. 4





6/10

# Beispiel:

		SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6
Sende-Symbolfolge (SS)	Re	+1	-1	+1	-1	+1	+1
	Im	+1	+1	+1	-1	-1	-1

		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
Empfangs-Symbolfolge (ES')	Re	1,5	0,1	0,4	-0,6	1,1	0,8
	Im	0,8	0,1	0,2	-0,1	-0,9	-2

Abstand $\min\{a_i^2\}$	$a_i^2$ (min)	0,29	1,62	1	0,97	0,02	1,04
-------------------------	---------------	------	------	---	------	------	------

Par-Gruppen :  $t_0(0,29; 1,62; 1) \longrightarrow 1 \text{ (Pos3)}$   
 $t_1(1,62; 1; 0,97) \longrightarrow 1 \text{ (Pos2)}$   
 $t_2(1; 0,97; 0,02) \longrightarrow 0,97 \text{ (Pos2)}$   
 $t_3(0,97; 0,02; 1,04) \longrightarrow 0,97 \text{ (Pos1)}$

sortierte Abstände

		Pos3	Pos2	Pos2	Pos1
		ES1'	ES2'	ES3'	ES4'
gefitteste Empfangs-Symbolfolge (ES')	Re	0,4	0,4	-0,6	-0,6
	Im	0,2	0,2	-0,1	-0,1
Entscheidung	Re	ES1	ES2	ES3	ES4
	Im	+1	+1	-1	-1

Tabelle

(Fig 6)

7/10

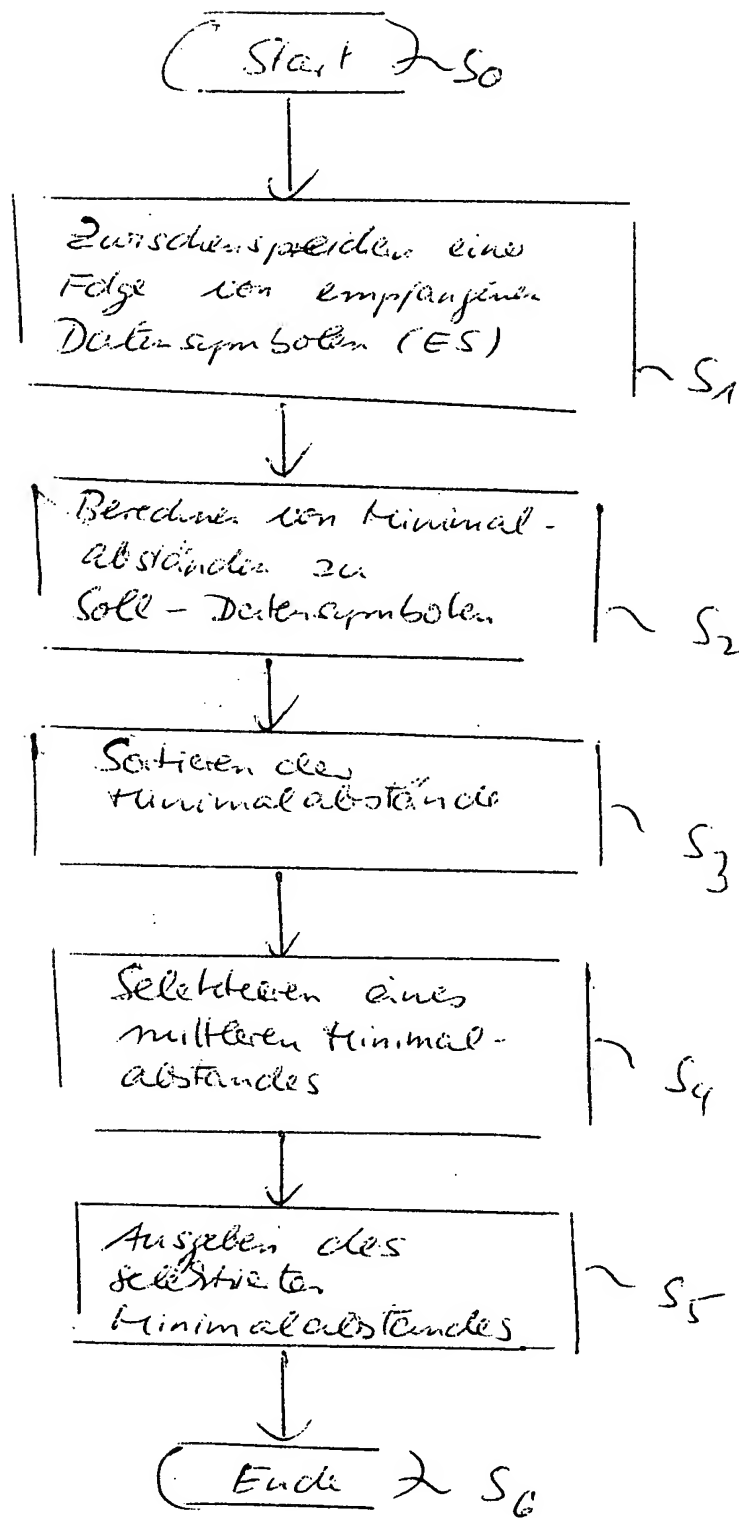
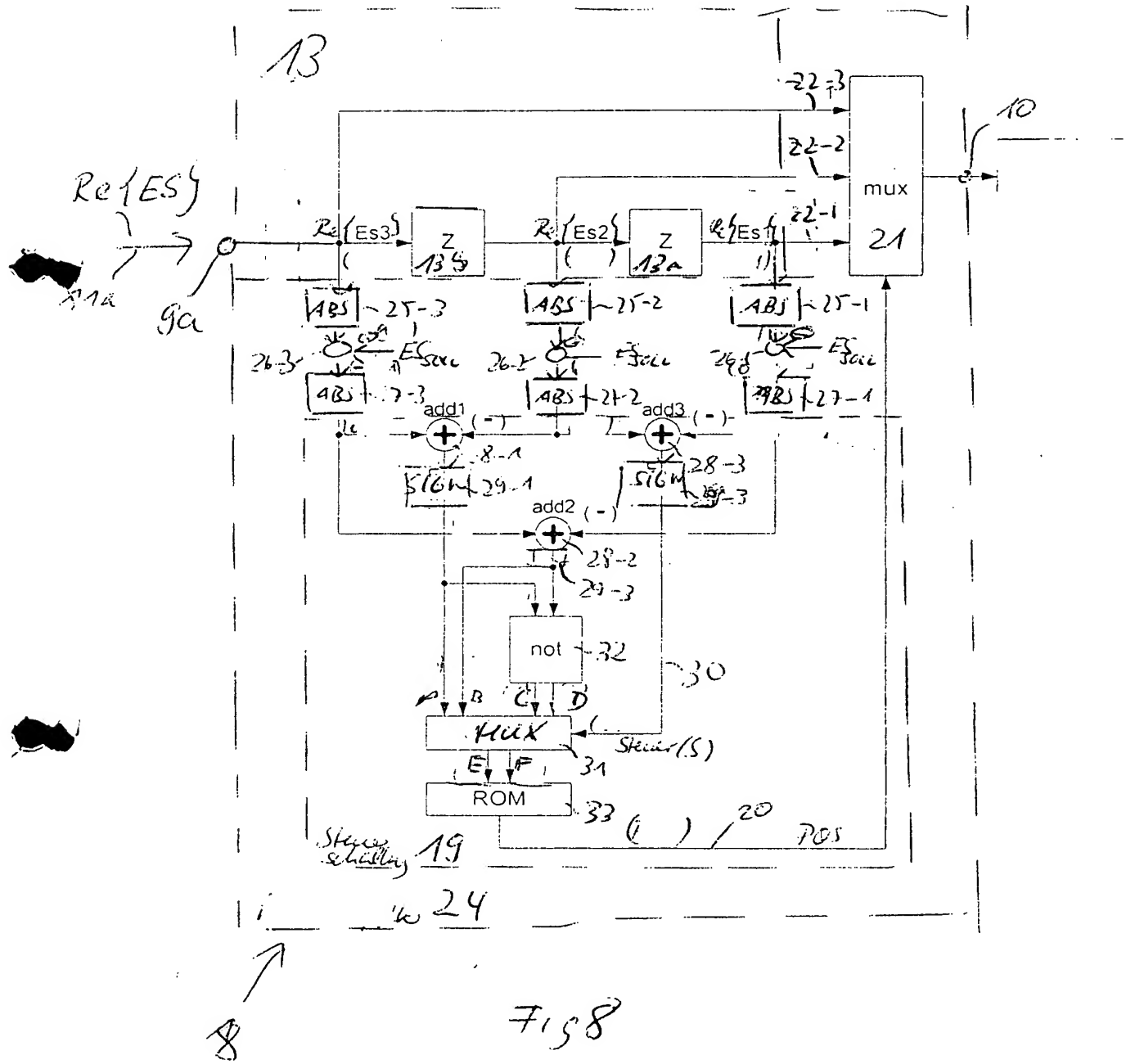


Fig 7

8/10





$$\frac{10}{10}$$
